

Perilaku Oprit Jembatan Akibat Beban Kendaraan Terhadap Stabilitas Abutment Menggunakan Midas Soilworks

*Haryo Koco Buwono¹, Heri Khoeri², Badaruddin³, Dini Sofiana⁴, Andika Setiawan⁵

^{1,2,5} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, 10510

^{3,4} PT Hesa Laras Cemerlang, Komplek Rukan Mutiara Faza RB 1 Jl. Condet Raya No. 27 Pasar Rebo, Jakarta 13760

^{*}haryo.koco@umj.ac.id, kontak@hesa.co.id

Abstract

Based on this concept, research was conducted to investigate the stability of embankment slopes by incorporating additional coconut fiber. The slope stability analysis was conducted using Midas Soil Works software, a geotechnical software that employs finite element engineering analysis. This study illustrates slope stability by employing slope safety metrics that were derived from software analysis conducted by Midas Soil Works Software. Analysis of vehicle burden and lane load during loading. Therefore, the selected method, Bishop, and Morgenstern-Price, can be employed to conduct stability analysis using Midas Soilworks. Variations in soil parameters, including cohesion, internal friction angle, specific gravity, groundwater conditions, and slope geometry, are employed for sensitivity analysis. In accordance with SNI 8460:2017, explain the slope safety factors necessary for soil slope stability analysis. These factors are determined by weighing the costs and repercussions of slope failure against the degree of uncertainty in the analysis conditions. The minimum slope safety factor value that still satisfies the requirements was determined to be 1.25 based on the results of the slope stability analysis conducted on the oprite embankment.

Keywords: Bridge, Slope-stability, Midas, Abutment

Abstrak

Konstruksi suatu struktur sering kali dilakukan pada kondisi tanah yang bercirikan tanah dengan kekerasan rendah atau tanah berpori. Struktur yang dibangun di atas tanah ini menunjukkan ketidakstabilan karena kekuatannya yang tidak memadai. Berdasarkan konsep tersebut, dilakukan penelitian untuk mengetahui kestabilan lereng tanggul dengan memasukkan tambahan sabut kelapa. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Midas Soil Works, yaitu perangkat lunak geoteknik yang menggunakan analisis rekayasa elemen hingga. Studi ini mengilustrasikan stabilitas lereng dengan menggunakan metrik keamanan lereng yang diperoleh dari analisis perangkat lunak yang dilakukan oleh Midas Soil Works Software. Analisis beban kendaraan dan beban lajur pada saat pemuatan. Oleh karena itu, metode yang dipilih, Bishop, dan Morgenstern-Price, dapat digunakan untuk melakukan analisis stabilitas menggunakan Midas Soilworks. Variasi parameter tanah, termasuk kohesi, sudut gesekan internal, berat jenis, kondisi air tanah, dan geometri lereng, digunakan untuk analisis sensitivitas. Sesuai dengan SNI 8460:2017, menyatakan faktor keamanan lereng yang diperlukan untuk analisis stabilitas lereng tanah. Faktor-faktor ini ditentukan dengan menimbang biaya dan dampak kegagalan lereng terhadap tingkat ketidakpastian kondisi analisis. Nilai faktor keamanan lereng minimum yang masih memenuhi persyaratan ditetapkan sebesar 1,25 berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng yang dilakukan pada timbunan oprite.

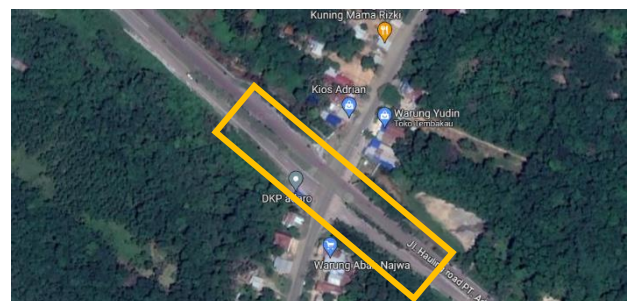
Kata Kunci: Jembatan, Stabilitas-Longsor, Midas, Abutment

PENDAHULUAN

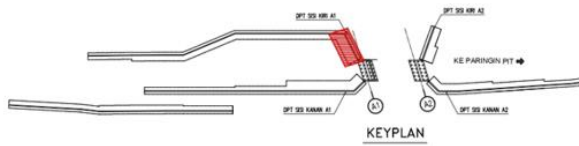
Konstruksi suatu struktur sering kali dilakukan pada kondisi tanah yang bercirikan tanah dengan kekerasan rendah atau tanah lunak. Tanah pada kondisi ini mempunyai kekuatan yang rendah sehingga menimbulkan ketidakstabilan pada struktur yang didirikan di atasnya. Contohnya adalah pembangunan jembatan di Kalimantan dengan penimbunan disisi belakang dari abutmen jembatan, yang memerlukan tindakan untuk meningkatkan stabilitas tanah. Salah satu cara untuk meningkatkan stabilitas tanah adalah melalui penimbunan tanah.

Pemberian beban tambahan pada tanah oleh timbunan akan mengakibatkan terbentuknya lereng baru, yang menyebabkan perubahan tegangan tanah yang mempengaruhi stabilitas tanah (Eddie Sunaryo Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan et al., 2015). Tanah tanggul dapat terdiri dari tanah yang tidak dimodifikasi atau tanah yang ditambah dengan unsur tambahan. Penambahan unsur-unsur tambahan diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tanah.

Lokasi penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1** tampilan dari Google Earth dan penjelasan lokasi penelitian posisi oprit dijelaskan pada **Gambar 2**.



Gambar 1 Lokasi Asesmen Oprit Jembatan
Sumber: Google Earth (2023)



Gambar 2. Area yang dilakukan penelitian
Sumber: Hasil analisis (2023)

Secara teoritis, peningkatan kekuatan geser tanah akan meningkatkan faktor keamanan lereng, yang berarti peningkatan stabilitas lereng (Sulistyowati et al., 2022). Software Midas Soil Works, suatu perangkat lunak geoteknik yang memanfaatkan analisis teknik elemen hingga, digunakan untuk analisis stabilitas lereng. Penelitian ini menunjukkan stabilitas lereng melalui metrik keamanan lereng yang diperoleh dari analisis perangkat lunak Software Midas Soil Works (Sun et al., 2019).

Maksud penelitian ini adalah menganalisis secara mendalam perilaku stabilitas oprit jembatan saat dilalui beban kendaraan dengan variasi berat dan kecepatan. Mengevaluasi pengaruh beban kendaraan terhadap deformasi dan tegangan yang terjadi pada oprit dan abutment jembatan. Mengidentifikasi faktor-faktor kritis yang mempengaruhi stabilitas oprit dan abutment, seperti jenis tanah, dimensi oprit, dan karakteristik abutment. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah membangun model numerik oprit dan abutment jembatan menggunakan software Midas Soilworks yang akurat dan reliabel. Melakukan simulasi numerik untuk berbagai skenario pembebanan kendaraan guna mendapatkan data deformasi, tegangan, dan faktor keamanan. Mengembangkan korelasi antara parameter input (beban kendaraan, sifat tanah, dll.) dengan respon output (deformasi, tegangan). Menyusun rekomendasi desain oprit dan abutment jembatan yang lebih optimal dan aman berdasarkan hasil analisis.

Berdasarkan maksud dan tujuan tersebut perlu dilakukan identifikasi kelongsoran pada abutmen jembatan karena beban oprit yang merupakan fenomena kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah faktor keamanan longsor. Tinjauan ini menunjukkan bahwa faktor keamanan longsor merupakan suatu nilai numerik yang menunjukkan seberapa aman suatu lereng atau dalam hal ini abutmen jembatan terhadap potensi longsor. Diperlukan melakukan *modeling* yang merepresentasikan kondisi di lokasi. Semakin tinggi nilai faktor keamanan, maka semakin stabil lereng tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA Tanah

Tanah merupakan suatu zat yang tersusun atas agregat (butiran) dan mineral padat yang tidak terikat secara kimia, berasal dari bahan organik yang terurai, bersama dengan cairan dan gas yang menempati rongga antar partikel padat. Itu. Partikel mineral penyusun komponen padat tanah berasal dari pelapukan batuan (Hardiyatmo, 2002). Dimensi masing-masing butiran padat menunjukkan variabilitas yang signifikan, dan berbagai karakteristik

tanah bergantung pada unsur-unsur seperti ukuran butiran, morfologi, dan komposisi kimia (Sulistyowati et al., 2022).

Akibatnya, tanah dapat menunjukkan kualitas yang berbeda-beda pada jarak yang berbeda. Setiap tanah memiliki parameter berbeda yang dapat dipastikan melalui studi laboratorium, uji lapangan, atau korelasi parametrik tanah.

Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 berikut menggambarkan hubungan parametrik tanah berdasarkan jenisnya.

Tabel 1. Nilai e, w dan γ_d Berdasarkan Tipe Tanah

Type Of Soil	Void Ratio (e)	Natural Moisture Content In Saturated Condition		
		Moisture Content (%)	Dry Unit Weight (kN/m ³)	Dry Unit Weight (lb/ft ³)
Loose uniform sand	0,8	30	14,5	92
Dense uniform sand	0,45	16	18	115
Loose angular-grained silty sand	0,65	25	16	102
Dense angular-grained silty sand	0,4	15	19	120
Stiff clay	0,6	21	17	108
Soft clay	0,9-1,4	30-50	11,5-14,5	73-92
Loess	0,9	25	13,5	86
Soft organic clay	2,5-3,2	90-120	6-8	38-51
Glacial till	0,3	10	21	134

Sumber: (Das, 1995)

Tabel 2. Nilai K Berdasarkan Tipe Tanah

Type Of Soil	Coeffision of Permeability (k) (cm/sec)
Medium to coarse gravel	Greater than 10 ⁻¹
Coarse to fine sand	10 ⁻¹ to 10 ⁻³
Fine sand, silty sand	10 ⁻³ to 10 ⁻⁵
Silt, clayey silt, silty clay	10 ⁻⁴ to 10 ⁻⁶
Clays	10 ⁻⁷ or less

Sumber: Das (1995)

Tabel 3. Nilai Modulus Elastisitas Tanah Es Berdasarkan Jenis Tanah

Tanah	Es (MPa)
Lempung sangat lunak	2-15
Lempung lunak	5-25
Lempung sedang	15-50
Lempung Keras	50-100
Lempung Berpasir	25-250

Sumber: Bowles (1997)

Tabel 4 Nilai Poisson Ratio Tanah μ Berdasarkan Jenis Tanah

Tanah	M
Lempung jenuh	0,4-0,5
Lempungtakjenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir Padat	0,3-0,4

Sumber: Bowles (1997)

Dalam konstruksi sipil, tanah dapat digunakan sebagai bahan timbunan untuk tanah dasar, tanggul, atau bendungan. Tanah adalah bahan yang hemat biaya dan mudah diakses. Ketika menggunakan tanah sebagai bahan timbunan, faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan (Pangemanan & A.E Turangan, 2014):

1. Akumulasi bertahap

Untuk mencegah terjadinya tekanan yang berlebihan pada lapisan tanah yang rapuh, pengisian tanah harus dilakukan secara bertahap. Penumpukan yang tidak bertahap dapat mengakibatkan tanah longsor pada lereng.

2. Investigasi tanah

Investigasi tanah yang menyeluruh diperlukan untuk memastikan sifat-sifat tanah. Sampel tanah dapat dikumpulkan dan uji laboratorium dapat dilakukan untuk melakukan penyelidikan.

3. Pemadatan tanah

Ruang pori antar partikel tanah dapat mengecil akibat pemadatan tanah. Akibatnya kepadatan tanah akan meningkat.

4. Drainase

Kandungan air di lapisan bawah tanah dapat dipertahankan dengan memastikan bahwa lapisan tersebut memiliki drainase yang baik.

5. Merencanakan ketinggian tanggul

Penurunan permukaan tanah dasar berdampak pada perencanaan ketinggian tanggul.

Kekuatan Geser Tanah

Kegagalan pada tanah merupakan akibat dari kombinasi kritis antara tegangan normal dan tegangan geser, bukan semata-mata akibat tegangan normal maksimal atau tegangan geser maksimum. Sesuai dengan Mohr Coulomb, berikut kriteria keruntuhan geser tanah (Hardiyatmo, 2002):

$$s = c + \sigma_n \tan \phi \quad (1)$$

dimana:

S = tegangan geser pada tanah

c = kohesi tanah

σ_n = tegangan normal

ϕ = sudut geser internal tanah

Uji geser langsung merupakan salah satu percobaan laboratorium yang dapat digunakan untuk memperoleh parameter kuat geser tanah antara lain kohesi (c) dan sudut gesek internal tanah Φ . Suatu sampel tanah biasanya dikenakan percobaan geser langsung pada beberapa kesempatan, setiap kali dilakukan pada variasi tegangan normal yang berbeda. Nilai tegangan geser (τ_f) dan tegangan normal (σ_n) ditentukan melalui berbagai percobaan. Hasil pengujian dapat direpresentasikan dalam grafik, dan parameter kuat geser tanah dapat ditentukan berdasarkan nilainya (Panguriseng, 2018).

Stabilitas Lereng

Penambahan atau pengurangan beban akan menimbulkan variasi tegangan pada suatu tanah. Penambahan beban timbunan akan mengakibatkan

perubahan tegangan tanah sehingga berpengaruh terhadap stabilitas tanah. Hal ini disebabkan adanya kegiatan penimbunan yang akan menimbulkan kemiringan baru (Sukandi & Lismaya Dewi, 2021).

Kemiringan adalah sudut kemiringan permukaan bumi terhadap bidang mendatar. Lereng dapat terbentuk secara alami atau buatan. Gundukan adalah lereng yang dibangun oleh manusia. Faktor keamanan, yaitu perbandingan antara gaya-gaya yang menahan gerakan dan gaya-gaya yang menggerakkan tanah, merupakan istilah yang digunakan untuk menentukan kestabilan suatu lereng (Yakub et al., 2021). Istilah tersebut dianggap stabil jika dirumuskan sebagai berikut (Eddie Sunaryo Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan et al., 2015; Sukandi & Lismaya Dewi, 2021):

Faktor kermanan (F) = gaya penahan / gaya penggerak

Dimana untuk keadaan :

- $F > 1,0$: lereng dalam keadaan mantap
- $F = 1,0$: lereng dalam keadaan seimbang, dan siap untuk longsor
- $F < 1,0$: lereng tidak mantap

Analisis keamanan suatu lereng melibatkan penerapan berbagai konsep. Selain melakukan penghitungan secara manual dengan menggunakan berbagai metode yang ada, program komputer juga dapat digunakan untuk mengevaluasi stabilitas lereng. Software Midas Soil Works adalah salah satu program yang dapat digunakan untuk menganalisis angka keamanan lereng. Metode elemen hingga digunakan oleh software Midas Soil Works (Sun et al., 2019). Tegangan dan regangan yang terjadi pada tanah dapat dianalisis secara bersamaan dengan metode ini. Berbagai faktor yang mengatur stabilitas lereng dapat diselidiki melalui penerapan analisis elemen hingga pada lereng.

Idealisasi Stabilitas Lereng

Dalam konteks stabilitas lereng, idealisasi merupakan model matematika yang menyederhanakan kondisi lapangan yang kompleks. Tujuannya adalah untuk menyederhanakan proses analisis dan perhitungan sambil tetap memberikan hasil yang cukup tepat untuk aplikasi teknik. Stabilitas suatu lereng sangat dipengaruhi oleh jenis tanah. Kekuatan geser tanah, yang merupakan parameter penting dalam analisis stabilitas, sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan mekanik tanah, termasuk kohesi, sudut gesekan internal, berat volume, permeabilitas, dan plastisitas. Berikut ini adalah cara mengasumsikan, realisasi dan implikasi:

Homogenitas Tanah

- Asumsi: Tanah dianggap homogen dalam seluruh volume lereng, artinya sifat fisik dan mekanik tanah konstan di setiap titik.
- Realitas: Pada kenyataannya, tanah jarang sekali homogen, seringkali terdapat lapisan-lapisan tanah dengan sifat yang berbeda.
- Implikasi: Idealisasi ini menyederhanakan analisis, namun dapat memberikan hasil yang kurang akurat jika terdapat variasi sifat tanah yang signifikan.

Isotropi Tanah

- Asumsi: Sifat mekanik tanah dianggap sama dalam semua arah.
- Realitas: Tanah umumnya bersifat anisotrop, terutama tanah sedimen yang memiliki perlawanan terhadap gaya geser yang berbeda-beda pada arah yang berbeda.
- Implikasi: Idealisasi ini dapat memberikan hasil yang cukup akurat untuk tanah kohesif, namun kurang tepat untuk tanah berbutir kasar.

Kondisi Batas Tanah

- Asumsi: Batas antara tanah dan batuan dasar, atau antara lapisan tanah yang berbeda, diasumsikan sebagai bidang yang tegas dan rata.
- Realitas: Batas antara lapisan tanah seringkali tidak rata dan dapat berupa bidang geser potensial.
- Implikasi: Idealisasi ini dapat mempengaruhi hasil analisis, terutama jika terdapat bidang lemah pada batas lapisan tanah.

Tingkat Kejenuhan Tanah

- Asumsi: Tingkat kejenuhan tanah diasumsikan konstan dalam seluruh volume lereng.
- Realitas: Tingkat kejenuhan tanah dapat bervariasi tergantung pada kondisi hidrologis dan curah hujan.
- Implikasi: Perubahan tingkat kejenuhan tanah dapat secara signifikan mempengaruhi kekuatan geser tanah dan stabilitas lereng.

Model Kekuatan Geser Tanah

- Asumsi: Hubungan antara tegangan geser dan deformasi geser tanah diasumsikan mengikuti hukum Mohr-Coulomb.
- Realitas: Model Mohr-Coulomb merupakan model yang sederhana dan sering digunakan, namun tidak selalu akurat untuk semua jenis tanah.
- Implikasi: Penggunaan model kekuatan geser yang lebih kompleks dapat memberikan hasil yang lebih akurat, namun juga meningkatkan kompleksitas analisis.

Biaya dan Konsekuensi Kegagalan Struktur

SNI 8460:2017 memberikan pedoman yang komprehensif untuk perencanaan geoteknik yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur. Beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan adalah:

- Melakukan investigasi tanah secara menyeluruh untuk mengetahui sifat dan kondisi tanah di lokasi proyek.
- Memilih jenis pondasi yang sesuai dengan kondisi tanah dan beban yang akan ditanggung oleh struktur.
- Melakukan pengawasan ketat selama proses konstruksi untuk memastikan bahwa pekerjaan dilaksanakan sesuai dengan rencana.
- Melakukan pemeliharaan secara berkala untuk menjaga kondisi struktur agar tetap baik.

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan struktur dijelaskan pada **Gambar 3** berdasar SNI 8460:2017 menyatakan bahwa

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

^aTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.
^bTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.

Gambar 3 Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah
Sumber: SNI 8460:2017

PEMBEBANAN

Beban Lajur “D” Dan Beban Garis “KEL”

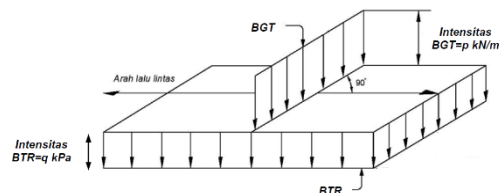
Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut:

- Jika $L \leq 30$ m: $q = 9,0$ kPa
- Jika $L > 30$ m: $q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right)$ kPa

Keterangan:

q adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa) dan L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter).

Beban garis terpusat (BGT) yang terlihat pada **Gambar 4** dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan



pada bentang lainnya.

Gambar 4. Beban Lajur “D”
Sumber: SNI 8460:2017

Beban Muatan “T”

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai (Eddie Sunaryo Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan et al., 2015). Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada **Tabel 5** berikut ini.

Tabel 5 Faktor beban untuk beban “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan	Keadaan Batas Ultimit
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: Eddie Sunaryo (2015)

MIDAS SOILWORKS

MIDAS SoilWorks menggunakan beberapa metode analisis, di antaranya: Limit Equilibrium Method (LEM), Strength Reduction Method (SRM), Stress Analysis Method (SAM), Simultaneous Analysis for Dry/Rainy Seasons, Automatic Failure Surface.

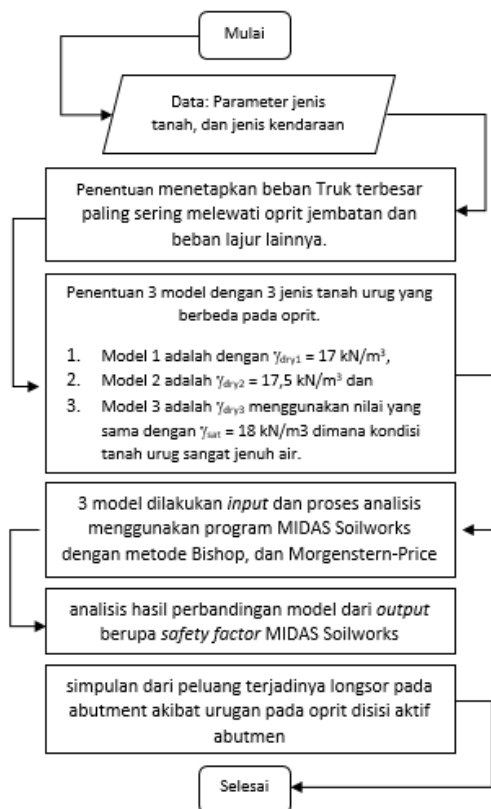
MIDAS SoilWorks dalam beberapa kasus dapat digunakan untuk:

- Membantu memeriksa kesalahan desain
- Meminimalisir risiko kegagalan konstruksi
- Menyediakan konsep pemodelan, analisis, kompilasi, dan presentasi hasil

MIDAS Soilworks adalah program komputer yang dapat digunakan untuk menganalisis dinding penahan tanah menggunakan metode elemen hingga. Program ini dapat menghasilkan hasil yang lebih optimal dan akurat (MIDAS, 2023b). MIDAS Soilworks menampilkan pemodelan dari bentuk konstruksi dan tanah yang memiliki spesifikasi tiap layer jenis tanah dan beban yang terjadi seperti gambar berikut ini.

METODOLOGI

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut ini dari *flowchart* pada **Gambar 5** dan uraian tahapannya.

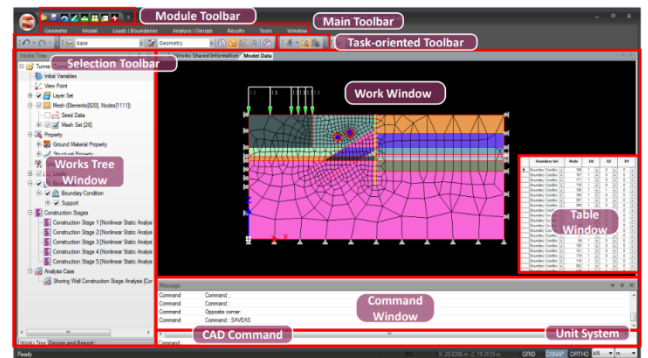


Gambar 5. Flowchart analisis penelitian

- Tahap pertama adalah mengumpulkan data-data berupa data sekunder yang diperlukan untuk analisis dalam penelitian ini yaitu data tanah hasil pengambilan

sample pengujian *bored hole* yaitu uji karakteristik tanah (kadar air, berat jenis, batas cair, batas plastis, kuat geser).

- Langkah berikutnya, menentukan 3 kondisi pemodelan 2D definisi geometri lereng dan lapisan tanah, dan penentuan parameter tanah berdasarkan hasil uji laboratorium untuk mengetahui *safety factor* abutmen keberadaan oprit. 3 Model tersebut dengan bentuk yang sama yang membedakan adalah dari jenis tanah timbunan/urug yang digunakan.
- Kemudian menetapkan beban Truk terbesar paling sering melewati oprit jembatan dan beban lajur lainnya.
- Langkah berikutnya 3 model dilakukan input dan proses analisis menggunakan program MIDAS Soilworks dengan metode Bishop, dan Morgenstern-Price. Untuk analisis sensitivitas menggunakan variasi input berupa parameter tanah berupa kohesi, sudut geser dalam, berat jenis, juga variasi kondisi air tanah serta beban kendaraan. Pada langkah ini, untuk mendapatkan hasil *safety factor* berbasis elemen hingga. Model 1 adalah dengan $\gamma_{dry1} = 17 \text{ kN/m}^3$, model 2 adalah $\gamma_{dry2} = 17,5 \text{ kN/m}^3$ dan model 3 adalah γ_{dry3} menggunakan nilai yang sama dengan $\gamma_{sat} = 18 \text{ kN/m}^3$ dimana kondisi tanah timbunan/urug sangat jenuh air. **Gambar 6** berikut adalah tampilan pemodelan pada software MIDAS Soilworks.



Gambar 6. Tampilan software Midas SoilWorks
Sumber: (MIDAS, 2023a)

- Langkah berikutnya adalah analisis hasil *output* MIDAS Soilworks dan pembahasan perbandingan model.
- Terakhir, melakukan simpulan dari peluang terjadinya longsor pada abutment akibat timbunan/urugan oprit disisi aktif abutmen.

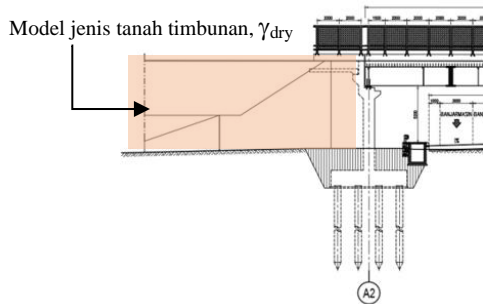
DISKUSI, ANALISIS DAN HASIL

Evaluasi Timbunan Oprit
Properti Material Tanah

Perhitungan geoteknik dengan menggunakan metode elemen hingga dimaksudkan salah satunya untuk memverifikasi hasil analisis. selanjutnya juga digunakan untuk melakukan verifikasi terhadap stabilitas lereng oprit. Perhitungan dengan metode elemen hingga dilakukan dengan bantuan software Midas Soil Works.

Properties material tanah yang digunakan mengacu pada kondisi desain awal. Sehingga dimodelkan

seperti **Gambar 6**. Dalam pengecekan stabilitas oprit jembatan akan dilakukan pada 3 model yaitu dimana kondisi tanah akan disimulasikan pada kondisi basah hal ini dimaksudkan untuk mengecek apakah kondisi lereng masih stabil apabila air hujan masuk kedalam timbunan oprit mengingat kondisi drainase pada oprit tidak berfungsi dengan baik.



Gambar 6. Tanah timbunan yang dimodelkan dalam 3 model dengan mengkondisikan γ_{dry}

Material tanah dimodelkan dengan menggunakan persamaan Mohr colomb, dimana parameter geser dan kompresibilitas setiap lapisan adalah sesuai **Tabel 6**, **Tabel 7** dan **Tabel 8** berikut ini

Tabel 6. Properties material tanah (Model 1)

Name	Possio Ratio	γ_{sat} kN/m ³	γ_{dry} kN/m ³	E kN/m ²	C kN/m ²	ϕ
Fill Material	0,3	18	17	8,000	0	40
Clay - 1	0,33	18	17	8,000	0	40
Clay - 2	0,33	18	17	20,000	0	100
Clay - 3	0,33	18	17	33,500	0	200

Sumber: Hasil Data Laboratorium, 2023

Tabel 7 Properties material tanah (Model 2)

Name	Possio Ratio	γ_{sat} kN/m ³	γ_{dry} kN/m ³	E kN/m ²	C kN/m ²	ϕ
Fill Material	0,3	18	17,5	8,000	0	40
Clay - 1	0,33	18	17	8,000	0	40
Clay - 2	0,33	18	17	20,000	0	100
Clay - 3	0,33	18	17	33,500	0	200

Sumber: Hasil Data Laboratorium, 2023

Tabel 8 Properties material tanah (Model 3)

Name	Possio Ratio	γ_{sat} kN/m ³	γ_{dry} kN/m ³	E kN/m ²	C kN/m ²	ϕ
Fill Material	0,3	18	18	8,000	0	40
Clay - 1	0,33	18	17	8,000	0	40
Clay - 2	0,33	18	17	20,000	0	100
Clay - 3	0,33	18	17	33,500	0	200

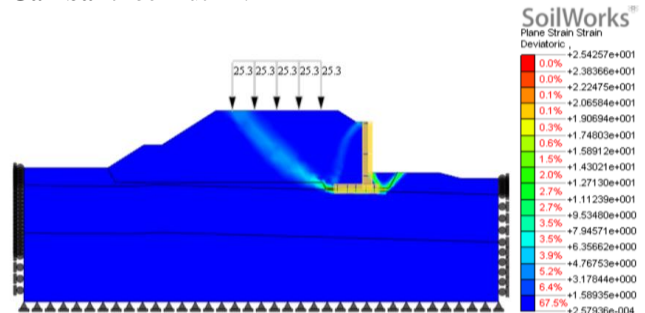
Pembebanan

BUWONO/PRILAKU/1178 - 1184

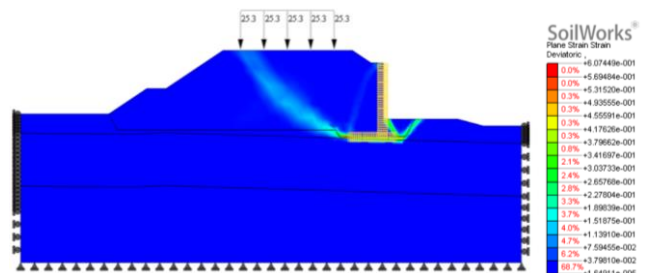
Analisis timbunan pada oprit jembatan dilakukan pada lokasi timbunan yang paling tinggi. Di atas timbunan terdapat beban kendaraan sebesar 25.3 kN/m² dan beban Pavement 13.86 kN/m². Sensitivitas analisis timbunan dilakukan pada lapisan tanah paling atas. Kondisi timbunan pada oprit jembatan dengan tinggi maksimum 8 m.

Hasil Analisis

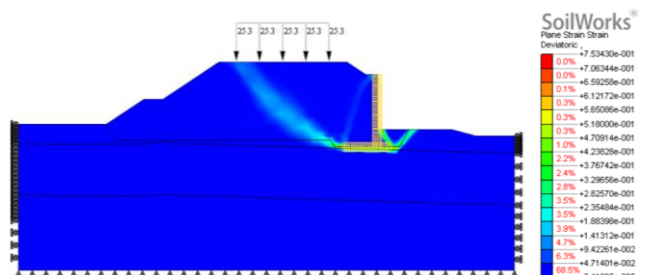
Berdasarkan pemodelan menggunakan Midas Soilworks dengan beban yang diberikan berdasarkan kondisi **Tabel 6**, **Tabel 7** dan **Tabel 8** didapatkan *safety factor* yang tervisualisasi pada **Gambar 7**, **Gambar 8** dan **Gambar 9** berikut ini.



Gambar 7 SF timbunan (SF = 1,313)



Gambar 8 SF timbunan (SF = 1,275)



Gambar 9 SF timbunan (SF = 1,25)

Model	SF	Rasio thd SNI 8460:2017
Model 1 ($\gamma_{dry1} = 17$ kN/m ³)	1,313	1,05
Model 2 ($\gamma_{dry2} = 17,5$ kN/m ³)	1,275	1,02
model 3 ($\gamma_{dry3} = \gamma_{sat} = 18$ kN/m ³)	1,25	1

Mengacu pada SNI 8460:2017 Faktor keamanan lereng yang disyaratkan untuk analisis kestabilan lereng tanah diperlihatkan pada **Gambar 3** dengan didasarkan pada pertimbangan biaya dan konsekuensi kegagalan lereng terhadap tingkat ketidakpastian kondisi analisis. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng yang telah dilakukan pada timbunan oprit pada model 3 adalah

mencapai nilai faktor keamanan yang terjadi 1,25, dimana rasio terhadap SNI 8460:2017 bernilai 1 artinya pada kondisi tanah timbunan yang jenuh air masih memenuhi persyaratan stabilitas lereng. Namun diharapkan bahwa kondisi tanah timbunan/urug untuk oprit sebaiknya dibawah γ_{sat} .

KESIMPULAN

Kondisi timbunan pada oprit jembatan dengan tinggi maksimum 8 m, mempertimbangkan berat jenis *saturated* atau berat jenis jenuh pada tanah timbunan/urugan. Berat jenis jenuh adalah perbandingan antara berat suatu bahan dalam keadaan jenuh dengan air (semua pori-pori bahan terisi air) terhadap berat air yang volumenya sama dengan volume bahan tersebut dalam keadaan jenuh.

Berdasarkan analisis dengan *finite element* (Midas Soilworks) dengan mempertimbangkan kondisi air hujan yang masuk kedalam timbunan oprit dimana $\gamma_{sat} = 18 \text{ kN/m}^3$ maka model 3 dapat dinyatakan memenuhi persyaratan akibat beban kendaraan dan kondisi tanah asli. Model 3 adalah mengkondisikan drainase pada area oprit tidak berfungsi dengan baik. Berdasarkan rasio 1 untuk model 3 maka sangat beresiko walaupun dinyatakan aman karena memenuhi persyaratan sesuai SNI 8460:2017.

Pertimbangan *maintenance* area jembatan untuk tetap memperhatikan drainase pada oprit jembatan, agar selalu aman terhadap keretakan yang ditimbulkan dari tekanan tanah aktif oprit, terutama saat hujan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Hesa Laras Cemerlang yang telah melibatkan penulis sebagai Team Leader pada proyek di Jembatan PT. Adaro Kalimantan, dan menggunakan Software berlisensi Midas SoilWorks sehingga artikel jurnal ini dapat terbantu.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik. *SNI 8460-2017, 8460*, 1–323.
- Bowles, J. E. (1997). *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1* (IV).
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik). In *Penerbit Erlangga*.
- Eddie Sunaryo Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, M., Penelitian dan Pengembangan, B., & Pekerjaan Umum, K. (2015). Ketidakstabilan Timbunan Oprit Jembatan Akibat Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Dan Pola Aliran Sungai. *Jurnal HPJI*, 1(1), 47–58.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I Jilid III. *Gadjah Mada University Press*, 1.
- MIDAS. (2023a). *Geotechnical Solutions for Practical Design*.
- MIDAS. (2023b). *SoilWorks Verification Summary*.
- Pangemanan, S. L., & A.E Turangan, O. B. . S. (2014). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik*, 2(1), 22–28.
<http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/3920>

- Panguriseng, D. (2018). *DASAR-DASAR MEKANIKA TANAH* (Issue March). Universitas Muhammadiyah Makasar.
- Sukandi, S., & Lismaya Dewi, N. P. E. (2021). Analisis Stabilitas Dan Deformasi Lereng Villa Sekeq Grupuk Dengan Simulasi Numeris. *Konstruksia*, 12(1), 115. <https://doi.org/10.24853/jk.12.1.115-126>
- Sulistiyowati, T., Agustawijaya, D. S., Muchtaranda, I. H., Prabowo, A., Muhajirah, M., & Ngudiyono, N. (2022). Simulasi Beban Runtuh Lereng Dengan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method) Menggunakan Program Abaqus Se (Studi Kasus Lereng Villa Senggigi). *Konstruksia*, 13(2), 23. <https://doi.org/10.24853/jk.13.2.23-32>
- Sun, Z., Liu, T., & Ma, S. (2019). Soil parameters inversion and influence based on MIDAS GTS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 384(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/384/1/012126>
- Yakub, A., Mukhtar, M., Nadvi, A., & Campus, T. (2021). Different Soil Stabilization Techniques. *International Journal of Advanced Science and Technology*, March 2020.